



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0047666

(51)^{2016.01} H04W 28/04

(13) B

(21) 1-2020-02097

(22) 13/04/2020

(45) 25/06/2025 447

(43) 27/07/2020 388A

(73) Tập đoàn Công nghiệp - Viễn thông Quân đội (VN)

Lô D26 khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hoà, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội.

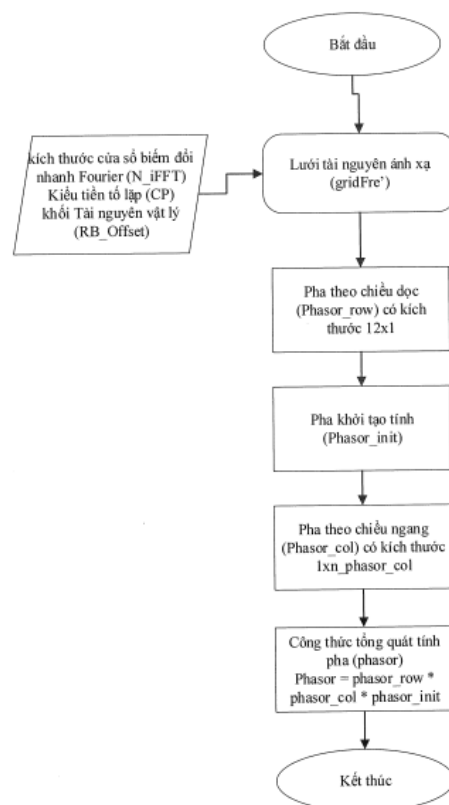
(72) NGUYỄN TRUNG TIẾN (VN); LƯƠNG XUÂN HÀO (VN); LÊ TRƯỜNG GIANG (VN).

(74) Công ty TNHH Tư vấn Quốc Dân (NACILAW)

(54) PHƯƠNG PHÁP HIỆU CHỈNH VÀ BÙ PHA ĐỘC LẬP CHO TÍN HIỆU THU BẰNG THÔNG HỢP INTERNET VẠN VẬT KẾT NỐI NB-IOT TRÊN HỆ THỐNG TRẠM THU PHÁT GỐC VÔ TUYẾN ENODEB

(21) 1-2020-02097

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp hiệu chỉnh và bù pha độc lập cho tín hiệu thu NB-IoT trên hệ thống trạm thu phát gốc vô tuyến eNodeB bao gồm bốn bước: bước 1: thực hiện khởi tạo tham số bộ thu với giả thiết đáp ứng NB-IoT và giải điều chế ghép kênh phân chia theo tần số trực giao (OFDM - Orthogonal frequency-division multiplexing) tín hiệu miền thời gian. Tìm giá trị pha nhân vào ở mỗi khối tế bào tài nguyên (RE- Resource Element) trên lưới tài nguyên của kênh vật lý đường xuống và đường lên dữ liệu trong hệ thống NB-IoT; bước 2: thực hiện phép lượng tử lấy mẫu pha ma trận và pha theo từng tế bào tài nguyên tần số thời gian (RE, Resource Element); bước 3: tìm hệ số pha theo chiều dọc và chiều ngang của ký tự tín hiệu cần hiệu chỉnh và bước 4: tìm pha khởi tạo, hiệu chỉnh tín hiệu và thực hiện bù pha độc lập cho từng nhóm sóng mang con của tín hiệu thu NB-IoT.



Hình 2

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp hiệu chỉnh và bù pha độc lập cho tín hiệu thu bằng thông hợp internet vạn vật kết nối (E-UTRAN Node B Narrow Band Internet of Things – eNodeB NB-IoT) trên hệ thống trạm thu phát gốc vô tuyến eNodeB giúp tiết kiệm tài nguyên và giảm thời gian xử lý trên hệ thống trạm thu phát gốc vô tuyến eNodeB, giải mã chính xác, qua đó tăng được dung lượng hệ thống và hiệu năng xử lý trên một đơn vị thời gian.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong các hệ thống viễn thông thế hệ mới hiện nay khi triển hạ tầng mạng hỗ trợ đáp ứng NB-IoT đều được triển khai song hành cùng với mạng di động hiện hữu mà cụ thể là hệ thống LTE-4G (Long Term Evolution, hệ thống mạng thế hệ thứ tư). Chính điều này đặt ra yêu cầu có hai bộ giải mã riêng biệt đồng bộ với nhau với thời gian và tốc độ xử lý hoàn toàn khác biệt nhau, dẫn tới sự phức tạp trong kiến trúc và tiêu tốn rất nhiều tài nguyên cho hệ thống mạng. Hiện nay, có một số giải pháp của các hãng viễn thông như NOKIA, SAMSUNG đang triển khai như sử dụng một số mô-đun (tổ hợp khối) độc lập cho xử lý NB-IoT được gắn kèm vào bo mạch vật lý vào hệ thống mạng đang triển khai, một số Vendor (nhà cung cấp mạng) khác như Huawei, Qualcomm thực hiện mô-đun xử lý NB-IoT trên phần mềm và thực hiện trộn dữ liệu miền thời gian.

Tuy nhiên, các giải pháp nêu trên có một số nhược điểm sau:

- Sử dụng nhiều tài nguyên vật lý và khối lượng xử lý DSP (Digital Signal Processing- xử lý tín hiệu số), đồng thời phát sinh nhiều trễ xử lý mô-đun cũng như đồng bộ khi hệ thống cao tải.
- Khó kiểm soát được nhiễu liên ký tự do chính các thiết bị hoặc mô-đun gây nên, từ đó làm giảm hiệu suất xử lý và tính chính xác trong giải mã tín hiệu.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Để giải quyết vấn đề nêu trên, sáng chế đề xuất phương pháp hiệu chỉnh và bù pha độc lập cho tín hiệu thu NB-IoT trên hệ thống trạm thu phát gốc vô tuyến eNodeB

nhằm tiết kiệm tài nguyên, giảm thời gian xử lý trên hệ thống và triệt tiêu nhiễu liên ký tự của nhiều thiết bị NB-IoT cùng hoạt động trạm thu phát gốc vô tuyến eNodeB, qua đó tăng được dung lượng hệ thống và hiệu năng xử lý trên một đơn vị thời gian. Nguyên tắc của phương pháp là xác định hiệu chỉnh vị trí của NB-IoT (băng thông hẹp internet vạn vật kết nối) trên lưới tài nguyên giành cho eNodeB, sau đó tiến hành bù pha độc lập theo từng cụm của sóng mang của nhóm tín hiệu thu NB-IoT. Công việc hiệu chỉnh và bù pha độc lập được tiến hành qua các bước như sau.

Bước 1: thực hiện khởi tạo tham số bộ thu và định dạng ra vùng dữ liệu LTE và NB-IoT;

Bước 2: thực hiện phép lượng tử lấy mẫu pha ma trận sóng mang và pha theo từng tế bào tài nguyên tần số thời gian (RE, Resource Element);

Bước 3: tính toán hệ số pha theo chiều dọc và chiều ngang của ký tự tín hiệu cần hiệu chỉnh;

Bước 4: tìm pha khởi tạo, hiệu chỉnh tín hiệu và thực hiện bù pha độc lập theo từng cụm của sóng mang tín hiệu thu NB-IoT.

Mô tả tóm tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả khởi tạo tham số đầu vào và tính toán ra ma trận tần số $\text{gridFre}'$ có cùng kích thước với ma trận gridFre . Thực hiện trong bước 1 của phương pháp sáng chế.

Hình 2 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả mô hình hóa công thức tổng quát biểu diễn của pha (phasor) cho từng tế bào tài nguyên tần số thời gian (RE- Resource Element). Thực hiện trong bước 2 của phương pháp sáng chế.

Hình 3 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả phương thức tính toán pha theo chiều dọc cho từng sóng mang. Thực hiện một phần trong bước 3 của phương pháp sáng chế.

Hình 4 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả tính toán tương quan giữa các pha của từng sóng mang theo chiều dọc và chiều ngang. Thực hiện một phần trong bước 3 của phương pháp sáng chế.

Hình 5 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả cách thức tìm pha khởi tạo, hiệu chỉnh tín hiệu từng sóng mang con của tín hiệu thu NB-IoT. Thực hiện một phần trong bước 4 của phương pháp sáng chế.

Hình 6 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả phương pháp thực hiện bù pha độc lập cho từng sóng mang con của tín hiệu thu NB-IoT. Thực hiện một phần trong bước 4 của phương pháp sáng chế.

Hình 7 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả thiết lập hệ thống và liên kết phần xử lý bù pha và hiệu chỉnh độc lập theo nhóm.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sáng chế phương pháp hiệu chỉnh và bù pha độc lập cho tín hiệu thu NB-IoT trên hệ thống trạm thu phát gốc vô tuyến eNodeB bao gồm bốn bước đều được thực hiện trên phần mềm xử lý DSP với thuật toán phương pháp với nội dung chi tiết mô tả bởi bốn bước cụ thể như sau:

Bước 1: thực hiện khởi tạo tham số bộ thu;

Tại bước này, tham số khởi tạo cần đáp ứng NB-IoT và giải điều chế ghép kênh phân chia theo tần số trực giao (OFDM - Orthogonal frequency-division multiplexing) tín hiệu miền thời gian. Và được mô tả chi tiết bên dưới. Sau đó, tìm giá trị pha nhân vào ở mỗi khối tế bào tài nguyên tần số thời gian (RE- Resource Element) trên lưới tài nguyên của kênh vật lý đường xuống và đường lên dữ liệu trong hệ thống NB-IoT, dữ liệu này sẽ thay đổi theo vị trí truy nhập và số lượng Ue (user equipment – thiết bị người dùng) được phân bổ tài nguyên. Biết rằng, NB-IoT sẽ cần sử dụng chung bộ điều chế OFDM với LTE và có biến đổi khác biệt ở hệ số pha.

$$s_u(t) = \sum_{u=1}^M \sum_{k=-6}^5 \left(b_u a_k e^{j2\pi(k+\frac{1}{2})\Delta f(t-N_{CP,l}T_s)} \right)$$

$$s'_u(t) = \sum_{u=1}^M \sum_{k=-6}^5 \left(b_u a_k e^{j2\pi(k+\frac{1}{2})\Delta f(t-N_{CP,l}T_s)} e^{j2\pi f_{0,u}(t+M_{0,u})\Delta f} \right)$$

Trong đó $s_u(t)$ là tổng hợp các tín hiệu mang dữ liệu LTE và $s'_u(t)$ là tổng hợp các tín hiệu mang dữ liệu NB-IoT ($M_{0,u}$ là độ lệch thời gian của từng Ue và $f_{0,u}$ là độ lệch tần số của từng Ue NB-IoT).

- M là tổng số lượng Ue, trong đó u là chỉ số của từng Ue, b là biên độ từng Ue.

- T_s là tần số lấy mẫu.
- Δf độ rộng sóng mang con.
- $N_{CP,l}$ là vị trí của ký tự mang OFDM với độ rộng chuỗi bảo vệ 160 ở ký tự đầu tiên và 144 ở các ký tự còn lại ứng với 20 MHz. Các băng thông còn lại lần lượt tỷ lệ.

Các giá trị cho trước là tham số khởi tạo đầu vào:

- Lưới tài nguyên đầu vào (dữ liệu miền tần số) gridFre là một ma trận có kích thước:

$$[12 \times n_{\text{Syms}}]$$

- Tín hiệu miền thời gian là một Vector có kích thước:

$$[15N_{\text{FFT}}n_{\text{Syms}} \times 1]$$

- Độ dài chuỗi tiền tố lặp CP (cyclic prefix) mô tả qua chỉ số $N_{CP,l}$
- n_{Syms} : số lượng ký tự OFDM và là bội của 14.
- N_{FFT} : số điểm thực hiện IFFT (biến đổi ngược của phép biến đổi nhanh Fourier) trong điều chế OFDM, tương ứng từng băng thông như bảng sau:

Băng thông 20 MHz	Băng thông 15 MHz	Băng thông 10 MHz	Băng thông 5 MHz	Băng thông 3 MHz	Băng thông 1,4 MHz
$N_{\text{FFT}} = 2048$	$N_{\text{FFT}} = 1536$	$N_{\text{FFT}} = 1024$	$N_{\text{FFT}} = 512$	$N_{\text{FFT}} = 256$	$N_{\text{FFT}} = 128$
$n_{\text{RB}} = 100$	$n_{\text{RB}} = 75$	$n_{\text{RB}} = 50$	$n_{\text{RB}} = 25$	$n_{\text{RB}} = 15$	$n_{\text{RB}} = 6$

- RBOffset : RB (resource block – khối tài nguyên vật lý) cấp phát cho NB-IoT trong lưới tài nguyên của LTE.

$$\text{gridFre} = \text{fft}(s_u(t))$$

Giải điều chế OFDM tín hiệu miền thời gian bằng cách dùng bộ giải điều chế OFDM của LTE. Sau đó, lấy đúng ma trận ở vị trí RB cấp phát cho NB-IoT ta được ma trận miền tần số $\text{gridFre}'$ có cùng kích thước với ma trận gridFre .

$$\text{gridFre}' = \text{fft}(s'_u(t))$$

Bước 2: thực hiện phép lượng tử lấy mẫu pha ma trận và pha theo từng tế bào tài nguyên tần số thời gian (RE, Resource Element). Dựa trên ma trận miền tần số có cùng kích thước với ma trận đã được tính ở bước 1.

Phép chia từng phần tử tương ứng của ma trận $\text{gridFre}'$ và gridFre biểu thị cho việc tìm độ lệch hệ số của từng cụm sóng mang và triệt tiêu phần nhiễu liên ký tự do tác động của nhiễu sóng mang NB-IoT.

$$\text{phasor} = \text{angle}\left(\frac{\text{gridFre}'}{\text{gridFre}}\right)$$

Tìm ra sự khác biệt giữa sóng mang LTE và các sóng mang NB-IoT bao gồm NB-IoT có thêm độ lệch tần số (tần số trung tâm của LTE và NB-IoT khác nhau, tuy nhiên ta lại lấy chung một tần số trung tâm (của LTE), hơn nữa NB-IoT có thêm phần dịch nửa sóng mang (half-shift). Đánh giá công thức tổng quát của tuyến lên và tuyến xuống có thể mô hình hóa biểu diễn của pha tín hiệu (phasor) cho từng RE được gồm ba thành phần.

$$\text{phasor} = \text{phasor}_{\text{Row}} \times \text{phasor}_{\text{Col}} \times \text{phasor}_{\text{init}}$$

Trong đó:

- $n_{\text{phasorCol}}$ là độ chiếm dụng số sóng mang con mà dữ liệu mang có thể 1,2,3,6,12 sóng mang tùy theo dung lượng tài nguyên yêu cầu và thời gian truyền.
- Pha tổng quát (phasor) có kích thước $[12 \times n_{\text{phasorCol}}]$
- Pha theo chiều dọc ($\text{phasor}_{\text{Row}}$), có kích thước $[12 \times 1]$
- Pha theo chiều ngang ($\text{phasor}_{\text{Col}}$), có kích thước $[1 \times n_{\text{phasorCol}}]$
- Pha khởi tạo ($\text{phasor}_{\text{init}}$) là một hằng số

Giá trị pha tại $\text{RE}(\text{row}_{\text{Idx}}, \text{col}_{\text{Idx}})$ là:

$$\text{phasor} = \text{phasor}_{\text{Row}}(\text{row}_{\text{Idx}}) \times \text{phasor}_{\text{Col}}(\text{col}_{\text{Idx}}) \times \text{phasor}_{\text{init}}$$

Bước 3: tính toán hệ số pha theo chiều dọc và chiều ngang của ký tự tín hiệu cần hiệu chỉnh. Đây chính là hai thành phần cấu thành nên công thức tổng quát mô tả ở bước 2.

- Thực hiện tìm pha theo chiều dọc ($\text{phasor}_{\text{Row}}$), loại bỏ thành phần $M_{0,u}$ lệch thời gian của nhóm từng Ue.

Quá trình thực hiện phép toán với row_{Idx} và col_{Idx} bất kỳ:

$$\frac{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}}, \text{col}_{\text{Idx}})}{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}} - 1, \text{col}_{\text{Idx}})}$$

đều cho cùng một kết quả. Do đó, pha theo chiều dọc sẽ có công thức:

$$\text{phasor}_{\text{Row}}(\text{sc}_{\text{Idx}}) = \exp\left(j2\pi \frac{\text{sc}_{\text{Idx}}}{N_{\text{FFT}}} \text{phasor}_{\text{Row}}^{\text{init}}\right)$$

Trong đó:

- sc_{Idx} là giá trị sóng mang con trong lưới tài nguyên cấp phát cho NB-IoT

$$(0 \leq \text{sc}_{\text{Idx}} < 11)$$

- $\text{phasor}_{\text{Row}}^{\text{init}}$: là giá trị nguyên khởi tạo cho $\text{phasor}_{\text{Row}}$.

Ta có:

$$\begin{aligned} & \left[\frac{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}}, \text{col}_{\text{Idx}})}{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}} - 1, \text{col}_{\text{Idx}})} \right] \\ &= \frac{\exp\left(j2\pi \frac{\text{row}_{\text{Idx}}}{N_{\text{FFT}}} \text{phasor}_{\text{Row}}^{\text{init}}\right) \times \text{phasor}_{\text{Col}}(\text{col}_{\text{Idx}}) \times \text{phasor}_{\text{init}}}{\exp\left(j2\pi \frac{\text{row}_{\text{Idx}} - 1}{N_{\text{FFT}}} \text{phasor}_{\text{Row}}^{\text{init}}\right) \times \text{phasor}_{\text{Col}}(\text{col}_{\text{Idx}}) \times \text{phasor}_{\text{init}}} \\ & \left[\frac{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}}, \text{col}_{\text{Idx}})}{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}} - 1, \text{col}_{\text{Idx}})} \right] = \exp\left(j2\pi \frac{1}{N_{\text{FFT}}} \text{phasor}_{\text{Row}}^{\text{init}}\right) \end{aligned}$$

Ta được:

$$\text{phasor}_{\text{Row}}^{\text{init}} = \text{angle} \left[\frac{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}}, \text{col}_{\text{Idx}})}{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}} - 1, \text{col}_{\text{Idx}})} \right] \frac{N_{\text{FFT}}}{2\pi}$$

Kết quả tính toán dựa vào các dữ liệu đầu vào đầu ra tương ứng với các RBOffset (vị trí khối tài nguyên vật lý) khác nhau, ta được cùng một kết quả:

$$\text{phasor}_{\text{Row}}^{\text{init}} = -15$$

Do đó, công thức của pha theo chiều dọc sẽ là:

$$\text{phasor}_{\text{Row}} = \begin{bmatrix} 1 \\ \exp\left(j2\pi \frac{-15}{N_{\text{FFT}}} 1\right) \\ \exp\left(j2\pi \frac{-15}{N_{\text{FFT}}} 2\right) \\ \vdots \\ \exp\left(j2\pi \frac{-15}{N_{\text{FFT}}} 15\right) \end{bmatrix}$$

- Tiếp tục tìm pha theo chiều ngang ($\text{phasor}_{\text{Col}}$) loại bỏ thành phần $f_{0,u}$ lệch tần số của từng Ue.

Qua việc thực hiện phép chia (thử nghiệm với nhiều RBOffset khác nhau), kết quả cho thấy cứ sau mỗi 28 ký tự symbol OFDM, thì ma trận pha sẽ lặp lại như nhau.

Pha theo chiều ngang được tính toán theo công thức:

$$\begin{aligned} & \text{phasor}_{\text{Col}}(\text{sym}_{\text{Idx}}) \\ &= \exp\left[j2\pi \frac{12(\text{RBOffset} + 0.5) + 0.5\text{sign} \sum_0^{\text{sym}_{\text{Idx}}} \text{cpLen}(\text{sym}_{\text{Idx}})}{N_{\text{FFT}}}\right] \end{aligned}$$

Trong đó:

- sym_{Idx} : là chỉ số ký tự symbol OFDM ($0 \leq \text{sym}_{\text{Idx}} \leq 27$)
- $\text{cpLen}(\text{sym}_{\text{Idx}})$ là độ dài CP tương ứng với ký tự symbol OFDM thứ sym_{Idx}
- $\text{sign} = \begin{cases} -1, & \text{RBOffset} < 25 \\ 1, & \text{RBOffset} \geq 25 \end{cases}$

Bước 4: tìm pha khởi tạo, hiệu chỉnh tín hiệu và thực hiện bù pha độc lập cho từng nhóm sóng mang con của tín hiệu thu NB-IoT. Dựa trên pha theo chiều dọc và pha theo chiều ngang được tìm ra ở bước 3 đã tìm được pha khởi tạo ở bước này.

Thực hiện phép toán:

$$\text{phasor} ./ (\text{phasor}_{\text{Row}} \times \text{phasor}_{\text{Col}})$$

Ta được ma trận có tất cả các giá trị bằng nhau. Do đó, pha khởi tạo sẽ là:

$$\text{phasor}_{\text{init}} = \frac{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}}, \text{col}_{\text{Idx}})}{[\text{phasor}_{\text{Row}}(\text{row}_{\text{Idx}}, \text{col}_{\text{Idx}}) \text{phasor}_{\text{Col}}(\text{row}_{\text{Idx}}, \text{col}_{\text{Idx}})]}$$

Ta được giá trị pha khởi tạo (công thức hóa) có công thức:

$$\text{phasor}_{\text{init}} = \exp\left(j2\pi \frac{282.5}{N_{\text{FFT}}}\right) * n_{\text{group}}$$

trong đó:

n_{group} : là cụm sóng mang được sử dụng để gộp tối ưu thời gian xử lý. Hiện đang sử dụng tối ưu với hệ số là 3.

N_{FFT} : là kích thước của số Fourier sử dụng như bảng ở bước 1 mô tả.

- Theo phương pháp của sáng chế hiệu chỉnh tín hiệu bám theo hệ số pha đã xác định và bù pha độc lập cho tín hiệu thu theo từng nhóm sóng mang:

$$t_{rec}(t) = \sum_{i=0}^k (phasor_{init} * t_{symbol}(i)) + 10 * \log(nRB * 15000)$$

Trong đó $t_{rec}(t)$ là tín hiệu đã hiệu chỉnh bám pha và bù pha độc lập

$t_{symbol}(i)$ là tín hiệu thu từng ký tự NB-IoT đã loại bỏ lệch tần số và lệch thời gian của nhiều Ue NB-IoT.

nRB là số lượng tài nguyên lớp vật lý của băng thông LTE mang với tối đa như bảng bước 1 mô tả.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Trên thực tế, hệ thống được thiết lập theo phương pháp của sáng chế đã được áp dụng trong phòng lab và triển khai ở ngoài mạng lưới, Hình 7 là hệ thống được cài đặt thực tế tại phòng thí nghiệm điện tử thuộc dự án eNodeB, trình tự thiết lập và áp dụng phương pháp theo sáng chế được mô tả các bước cụ thể như sau. Thiết lập hệ thống thực tế bao gồm thiết lập hệ 1 khối mạch điều khiển giao vận (Control Transport Card - CTC) cung cấp xung nhịp (clock) đồng bộ lấy từ nguồn vệ tinh định vị toàn cầu (Global Position Satellite - GPS) hoặc nguồn đồng bộ 1588 nối khối mạch xử lý băng gốc (Baseband Card - BBC), sau đó cài đặt phần mềm xác định tính toán pha khởi tạo và bù pha khử nhiễu nhiều thiết bị NB-IoT do tác giả sử dụng ngôn ngữ C/Python thực hiện trong môi trường Linux; sau đó áp dụng bộ tham số thiết lập hệ thống được nêu trong Bảng 1; CTC/BBC kết nối với khối vô tuyến từ xa (Remote Radio Unit - RRU) hệ ăng-ten 4 thu 4 phát thông qua giao diện thông qua chuẩn giao diện truyền sóng dùng chung (Common Public Radio Interface – CPRI); Kết quả sau khi hiệu chỉnh tối ưu và bù pha độc lập phản ánh thông qua các tham số đạt được như Bảng 2, chỉ số đo lường hiệu quả mạng (Key Performance Indicator - KPI) như Bảng 3 và chỉ số về hiệu năng xử lý và số lượng DSP cần thực hiện như Bảng 4.

Bảng 1: bộ tham số thiết lập hệ thống

Loại tham số	Tham số cấu hình
Tham số chung	Băng thông hệ thống: 20 MHz Số lượng tài nguyên vật lý nRB = 100 Số lần truyền lại HARQ: 4 Chỉ số lặp RV: RV0, RV2, RV3, RV1 Số lượng Ăng ten thu LTE: 4 Sóng mang con độ rộng: 15 KHz Loại điều chế LTE: 64QAM/16QAM/QPSK Số lượng LTE tối đa: 256 UE Chế độ tiên tố lặp bình thường
Tham số riêng thiết bị NB-IoT	Loại điều chế NB-IoT là QPSK/BPSK Số lượng Ăng ten xử lý NB-IoT: 2 Chỉ số lặp RV: RV0, RV2 Số sóng mang con tối đa: 12 Số lượng lặp: 4 RB Offset: từ 15 -> 40 Số lượng thiết bị NB-IoT tối đa: 1200

Bảng 2: một số tham số chất lượng mạng

Chỉ số thống kê chất lượng mạng	Theo giải pháp kỹ thuật đã biết	Theo sáng chế	Nhận xét
Phân bố tỷ lệ vùng nhiễu tạp âm lớn tương đương $\geq -109\text{dBm}$	11,04%	5,23%	Sau khi áp dụng phương pháp sáng chế vùng nhiễu cao giảm 5,81%
Phân bố tỷ lệ truy cập ngẫu nhiên thành công	80,86%	93,21%	Tỷ lệ truy cập ngẫu nhiên thành công tăng 12,35% sau khi áp dụng phương pháp sáng chế

Phân bố tỷ lỗi khối tuyến kênh vật lý đường lên (UL BLER)	26,14%	13,6%	Tỷ lệ lỗi khối tuyến lên giảm 12,54% sau khi áp dụng phương pháp sáng chế
Độ lợi trung bình chỉ số tín hiệu trên tạp âm nhiễu (SINR)	3,3	5,34	Sau khi áp dụng phương pháp sáng chế độ lợi trung bình tăng 2,04 dB
Tỷ lệ truyền lặp lại phân bố trên vùng biên tế bào mạng	18,2%	8,25%	Tỷ lệ truyền lặp lại phân bố trên vùng biên tế bào mạng giảm 9,25% sau khi áp dụng phương pháp sáng chế
Thời lượng pin trung bình sau mỗi lần wake-up (chu kỳ thu thập dữ liệu của thiết bị IoT)	203 giây	97 giây	Sau khi áp dụng phương pháp sáng chế trung bình đã giảm 106 giây, tương đương tăng tuổi thọ pin lên hơn 50 % chu kỳ vòng đời thiết bị.

Bảng 3: một số tham số chất lượng KPI của hệ thống

Thời gian	Chỉ số KPI khi áp dụng giải pháp kỹ thuật đã biết			Chỉ số KPI sau khi áp dụng phương pháp theo sáng chế		
	RASR (%)	RRC SR (%)	CSSR (%)	RASR (%)	RRC SR (%)	CSSR (%)
2-5-2020	73,37	98,36	98,01	78,83	99,68	99,05
1-6-2020	81,22	99,17	98,99	89,10	99,85	99,35

Trong đó:

- RASR: Random Access Success Rate – Tỷ lệ thành công thủ tục truy cập ngẫu nhiên

- RRC SR: Radio Resource Control Success Rate – Tỷ lệ thành công cấp phát tài nguyên điều khiển vô tuyến.
- CSSR: Call Setup Success Rate – Tỷ lệ thiết lập cuộc gọi hoặc dịch vụ thành công.

Như vậy các chỉ số KPI (100% là giá trị chuẩn lớn nhất) sau khi áp dụng phương pháp của sáng chế đều tốt hơn từ 15 % tới 30 % so với trước khi áp dụng phương pháp của sáng chế.

Bảng 4: chỉ số về hiệu năng xử lý và số lượng DSP cần thực hiện

Số lượng Ue NB- IoT trong tế bào mạng	Chỉ số hiệu năng khi áp dụng giải pháp kỹ thuật đã biết			Chỉ số hiệu năng sau khi áp dụng phương pháp theo sáng chế		
	Thời gian xử lý khối giải mã (ms)	Số lượng DSP sử dụng cho NB-IoT	Thời gian hoàn thành chu trình phản hồi (ms)	Thời gian xử lý khối giải mã (ms)	Số lượng DSP sử dụng cho NB-IoT	Thời gian hoàn thành chu trình phản hồi (ms)
100	2,5	6	400	2,2	4	300
200	2,7	12	523	2,5	9	485
500	2,85	24	1025	2,65	18	980
1000	3	36	1549	2,7	27	1350

Trong đó:

Như vậy sau khi áp dụng phương pháp của sáng chế đều giúp tiết kiệm thời gian xử lý và tài nguyên DSP từ 10 % tới 30 % so với trước khi áp dụng phương pháp của sáng chế.

Các lợi ích đạt được của sáng chế

Hệ thống được thiết lập theo phương pháp theo sáng chế có khả năng hiệu chỉnh và bù pha độc lập cho tín hiệu thu bằng thông hợp internet vạn vật kết nối (E-UTRAN Node B Narrow Band Internet of Things – eNodeB NB-IoT) trên hệ thống trạm thu phát

gốc vô tuyến eNodeB giúp tiết kiệm tài nguyên và giảm thời gian xử lý trên hệ thống trạm thu phát gốc vô tuyến eNodeB, giải mã chính xác, qua đó tăng được dung lượng hệ thống, hiệu năng xử lý trên một đơn vị thời gian và cải thiện chất lượng mạng. Khắc phục một số nhược điểm sau: như sử dụng nhiều tài nguyên vật lý cũng như số lượng xử lý DSP (Digital Signal Processing, xử lý tín hiệu số). Giảm trễ xử lý mô-đun cũng như đồng bộ khi hệ thống cao tải. Kiểm soát được nhiễu liên ký tự do chính các thiết bị hoặc mô-đun gây nên giảm hiệu suất xử lý và tính chính xác trong giải mã tín hiệu.

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp hiệu chỉnh và bù pha độc lập cho tín hiệu thu NB-IoT trên hệ thống trạm thu phát gốc vô tuyến eNodeB bao gồm bốn bước:

bước 1: thực hiện khởi tạo tham số bộ thu:

tại bước này, tham số khởi tạo cần đáp ứng NB-IoT và giải điều chế ghép kênh phân chia theo tần số trực giao (OFDM - orthogonal frequency-division multiplexing) tín hiệu miền thời gian và được mô tả chi tiết bên dưới; sau đó, tìm giá trị pha nhân vào ở mỗi khối tế bào tài nguyên tần số thời gian (RE - resource element) trên lưới tài nguyên của kênh vật lý đường xuống và đường lên dữ liệu trong hệ thống NB-IoT, dữ liệu này sẽ thay đổi theo vị trí truy nhập và số lượng Ue (user equipment – thiết bị người dùng) được phân bổ tài nguyên; biết rằng, NB-IoT sẽ cần sử dụng chung bộ điều chế OFDM với LTE và có biến đổi khác biệt ở hệ số pha:

$$s_u(t) = \sum_{u=1}^M \sum_{k=-6}^5 \left(b_u a_k e^{j2\pi(k+\frac{1}{2})\Delta f(t-N_{CP,l}T_s)} \right)$$

$$s'_u(t) = \sum_{u=1}^M \sum_{k=-6}^5 \left(b_u a_k e^{j2\pi(k+\frac{1}{2})\Delta f(t-N_{CP,l}T_s)} e^{j2\pi f_{0,u}(t+M_{0,u})\Delta f} \right)$$

trong đó $s_u(t)$ là tổng hợp các tín hiệu mang dữ liệu LTE và $s'_u(t)$ là tổng hợp các tín hiệu mang dữ liệu NB-IoT ($M_{0,u}$ là độ lệch thời gian của từng Ue và $f_{0,u}$ là độ lệch tần số của từng Ue NB-IoT);

M là tổng số lượng Ue, trong đó u là chỉ số của từng Ue, b là biên độ từng Ue;

T_s là tần số lấy mẫu;

Δf độ rộng sóng mang con;

$N_{CP,l}$ là vị trí của ký tự mang OFDM với độ rộng chuỗi bảo vệ 160 ở ký tự đầu tiên và 144 ở các ký tự còn lại ứng với 20 MHz; các băng thông còn lại lần lượt tỷ lệ;

các giá trị cho trước là tham số khởi tạo đầu vào:

lưới tài nguyên đầu vào (dữ liệu miền tần số) gridFre là một ma trận có kích thước:

$$[12 \times n_{\text{Syms}}]$$

tín hiệu miền thời gian là một vector có kích thước:

$$[15N_{\text{FFT}}n_{\text{Syms}} \times 1]$$

độ dài chuỗi tiền tố lặp CP (cyclic prefix) mô tả qua chỉ số $N_{\text{CP},l}$

n_{Syms} : số lượng ký tự symbol OFDM và là bội của 14;

N_{FFT} : số điểm thực hiện IFFT (biến đổi ngược của phép biến đổi nhanh fourier) trong điều chế OFDM, tương ứng từng băng thông như bảng sau:

băng thông 20 MHz	băng thông 15 MHz	băng thông 10 MHz	băng thông 5 MHz	băng thông 3 MHz	băng thông 1,4 MHz
$N_{\text{FFT}} = 2048$	$N_{\text{FFT}} = 1536$	$N_{\text{FFT}} = 1024$	$N_{\text{FFT}} = 512$	$N_{\text{FFT}} = 256$	$N_{\text{FFT}} = 128$
$n_{\text{RB}} = 100$	$n_{\text{RB}} = 75$	$n_{\text{RB}} = 50$	$n_{\text{RB}} = 25$	$n_{\text{RB}} = 15$	$n_{\text{RB}} = 6$

RBOffset : RB (resource block – khối tài nguyên vật lý) cấp phát cho NB-IoT trong lưới tài nguyên của LTE:

$$\text{gridFre} = \text{fft}(s_u(t))$$

giải điều chế OFDM tín hiệu miền thời gian bằng cách dùng bộ giải điều chế OFDM của LTE; sau đó, lấy đúng ma trận ở vị trí RB cấp phát cho NB-IoT ta được ma trận miền tần số $\text{gridFre}'$ có cùng kích thước với ma trận gridFre :

$$\text{gridFre}' = \text{fft}(s'_u(t))$$

bước 2: thực hiện phép lượng tử lấy mẫu pha ma trận và pha theo từng tế bào tài nguyên tần số thời gian (RE, resource element); dựa trên ma trận miền tần số $\text{gridFre}'$ có cùng kích thước với ma trận gridFre đã được tính ở bước 1;

phép chia từng phần tử tương ứng của ma trận $\text{gridFre}'$ và gridFre biểu thị cho việc tìm độ lệch hệ số của từng cụm sóng mang và triệt tiêu phần nhiễu liên ký tự do tác động của nhiễu sóng mang NB-IoT:

$$\text{phasor} = \text{angle}\left(\frac{\text{gridFre}'}{\text{gridFre}}\right)$$

tìm ra sự khác biệt giữa sóng mang LTE và các sóng mang NB-IoT bao gồm NB-IoT có thêm độ lệch tần số (tần số trung tâm của LTE và NB-IoT khác nhau, tuy nhiên ta lại lấy chung một tần số trung tâm (của LTE), hơn nữa NB-IoT có thêm phần dịch nửa sóng mang (half-shift); đánh giá công thức tổng quát của tuyến lên và tuyến xuống có thể mô hình hóa biểu diễn của pha tín hiệu (phasor) cho từng RE được gồm ba thành phần:

$$\text{phasor} = \text{phasor}_{\text{Row}} \times \text{phasor}_{\text{Col}} \times \text{phasor}_{\text{init}}$$

trong đó:

$n_{\text{phasorCol}}$ là độ chiếm dụng số sóng mang con mà dữ liệu mang có thể 1,2,3,6,12 sóng mang tùy theo dung lượng tài nguyên yêu cầu và thời gian truyền;

pha tổng quát (phasor) có kích thước $[12 \times n_{\text{phasorCol}}]$

pha theo chiều dọc ($\text{phasor}_{\text{Row}}$), có kích thước $[12 \times 1]$

pha theo chiều ngang ($\text{phasor}_{\text{Col}}$), có kích thước $[1 \times n_{\text{phasorCol}}]$

pha khởi tạo ($\text{phasor}_{\text{init}}$) là một hằng số

giá trị pha tại RE($\text{row}_{\text{Idx}}, \text{col}_{\text{Idx}}$) là:

$$\text{phasor} = \text{phasor}_{\text{Row}}(\text{row}_{\text{Idx}}) \times \text{phasor}_{\text{Col}}(\text{col}_{\text{Idx}}) \times \text{phasor}_{\text{init}}$$

bước 3: tính toán hệ số pha theo chiều dọc và chiều ngang của ký tự tín hiệu cần hiệu chỉnh; đây chính là hai thành phần cấu thành nên công thức tổng quát mô tả ở bước 2;

thực hiện tìm pha theo chiều dọc ($\text{phasor}_{\text{Row}}$), loại bỏ thành phần $M_{0,u}$ lệch thời gian của nhóm từng Ue;

quá trình thực hiện phép toán với row_{Idx} và col_{Idx} bất kỳ:

$$\frac{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}}, \text{col}_{\text{Idx}})}{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}} - 1, \text{col}_{\text{Idx}})}$$

đều cho cùng một kết quả, Do đó, pha theo chiều dọc sẽ có công thức:

$$\text{phasor}_{\text{Row}}(sc_{\text{Idx}}) = \exp\left(j2\pi \frac{sc_{\text{Idx}}}{N_{\text{FFT}}} \text{phasor}_{\text{Row}}^{\text{init}}\right)$$

trong đó:

sc_{Idx} là giá trị sóng mang con trong lưới tài nguyên cấp phát cho NB-IoT

$$(0 \leq sc_{\text{Idx}} < 11)$$

$\text{phasor}_{\text{Row}}^{\text{init}}$: là giá trị nguyên khởi tạo cho $\text{phasor}_{\text{Row}}$

ta có:

$$\begin{aligned} & \left[\frac{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}}, \text{col}_{\text{Idx}})}{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}} - 1, \text{col}_{\text{Idx}})} \right] \\ &= \frac{\exp\left(j2\pi \frac{\text{row}_{\text{Idx}}}{N_{\text{FFT}}} \text{phasor}_{\text{Row}}^{\text{init}}\right) \times \text{phasor}_{\text{Col}}(\text{col}_{\text{Idx}}) \times \text{phasor}_{\text{init}}}{\exp\left(j2\pi \frac{\text{row}_{\text{Idx}} - 1}{N_{\text{FFT}}} \text{phasor}_{\text{Row}}^{\text{init}}\right) \times \text{phasor}_{\text{Col}}(\text{col}_{\text{Idx}}) \times \text{phasor}_{\text{init}}} \\ & \left[\frac{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}}, \text{col}_{\text{Idx}})}{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}} - 1, \text{col}_{\text{Idx}})} \right] = \exp\left(j2\pi \frac{1}{N_{\text{FFT}}} \text{phasor}_{\text{Row}}^{\text{init}}\right) \end{aligned}$$

ta được:

$$\text{phasor}_{\text{Row}}^{\text{init}} = \text{angle} \left[\frac{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}}, \text{col}_{\text{Idx}})}{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}} - 1, \text{col}_{\text{Idx}})} \right] \frac{N_{\text{FFT}}}{2\pi}$$

kết quả tính toán dựa vào các dữ liệu đầu vào đầu ra tương ứng với các RBOffset (vị trí khối tài nguyên vật lý) khác nhau, ta được cùng một kết quả:

$$\text{phasor}_{\text{Row}}^{\text{init}} = -15$$

do đó, công thức của pha theo chiều dọc sẽ là:

$$\text{phasor}_{\text{Row}} = \begin{bmatrix} 1 \\ \exp\left(j2\pi \frac{-15}{N_{\text{FFT}}} 1\right) \\ \exp\left(j2\pi \frac{-15}{N_{\text{FFT}}} 2\right) \\ \vdots \\ \exp\left(j2\pi \frac{-15}{N_{\text{FFT}}} 15\right) \end{bmatrix}$$

tiếp tục tìm pha theo chiều ngang ($\text{phasor}_{\text{Col}}$) loại bỏ thành phần $f_{0,u}$ lệch tần số của từng Ue;

qua việc thực hiện phép chia (thử nghiệm với nhiều RBOffset khác nhau), kết quả cho thấy cứ sau mỗi 28 ký tự OFDM, thì ma trận pha sẽ lặp lại như nhau. Pha theo chiều ngang được tính toán theo công thức:

$$\text{phasor}_{\text{Col}}(\text{sym}_{\text{Idx}}) = \exp \left[j2\pi \frac{12(\text{RBOffset} + 0.5) + 0.5\text{sign}}{N_{\text{FFT}}} \sum_0^{\text{sym}_{\text{Idx}}} \text{cpLen}(\text{sym}_{\text{Idx}}) \right]$$

trong đó:

sym_{Idx} : là chỉ số ký tự symbol OFDM ($0 \leq \text{sym}_{\text{Idx}} \leq 27$)

$\text{cpLen}(\text{sym}_{\text{Idx}})$ là độ dài CP tương ứng với ký tự symbol OFDM thứ sym_{Idx}

$$\text{sign} = \begin{cases} -1, & \text{RBOffset} < 25 \\ 1, & \text{RBOffset} \geq 25 \end{cases}$$

bước 4: tìm pha khởi tạo, hiệu chỉnh tín hiệu và thực hiện bù pha độc lập cho từng nhóm sóng mang con của tín hiệu thu NB-IoT; dựa trên pha theo chiều dọc và pha theo chiều ngang được tìm ra ở bước 3 đã tìm được pha khởi tạo ở bước này;

thực hiện phép toán:

$$\text{phasor} ./ (\text{phasor}_{\text{Row}} \times \text{phasor}_{\text{Col}})$$

ta được ma trận có tất cả các giá trị bằng nhau; do đó, pha khởi tạo sẽ là:

$$\text{phasor}_{\text{init}} = \frac{\text{phasor}(\text{row}_{\text{Idx}}, \text{col}_{\text{Idx}})}{[\text{phasor}_{\text{Row}}(\text{row}_{\text{Idx}}, \text{col}_{\text{Idx}}) \text{phasor}_{\text{Col}}(\text{row}_{\text{Idx}}, \text{col}_{\text{Idx}})]}$$

ta được giá trị pha khởi tạo (công thức hóa) có công thức:

$$\text{phasor}_{\text{init}} = \exp \left(j2\pi \frac{282.5}{N_{\text{FFT}}} \right) * n_{\text{group}}$$

trong đó:

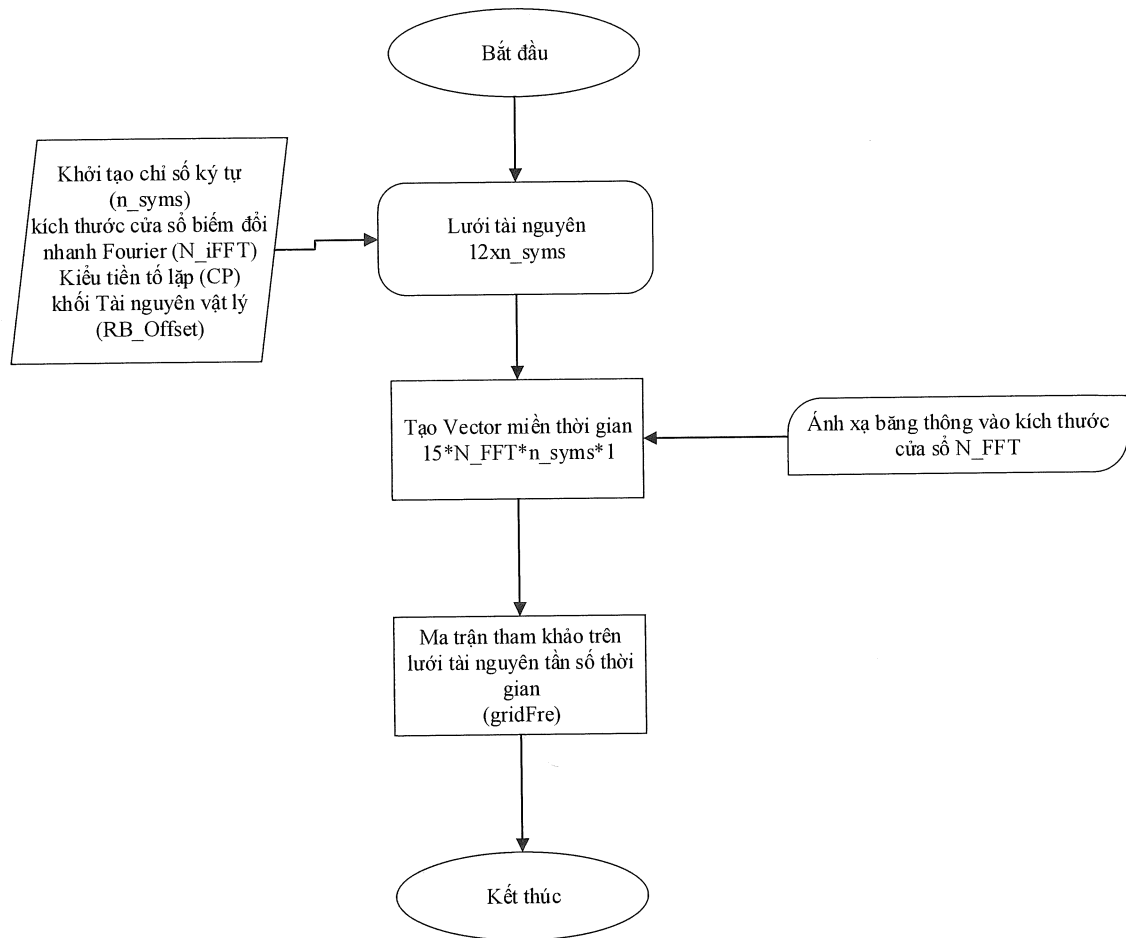
n_{group} : là cụm sóng mang được sử dụng để gộp tối ưu thời gian xử lý; hiện đang sử dụng tối ưu với hệ số là 3;

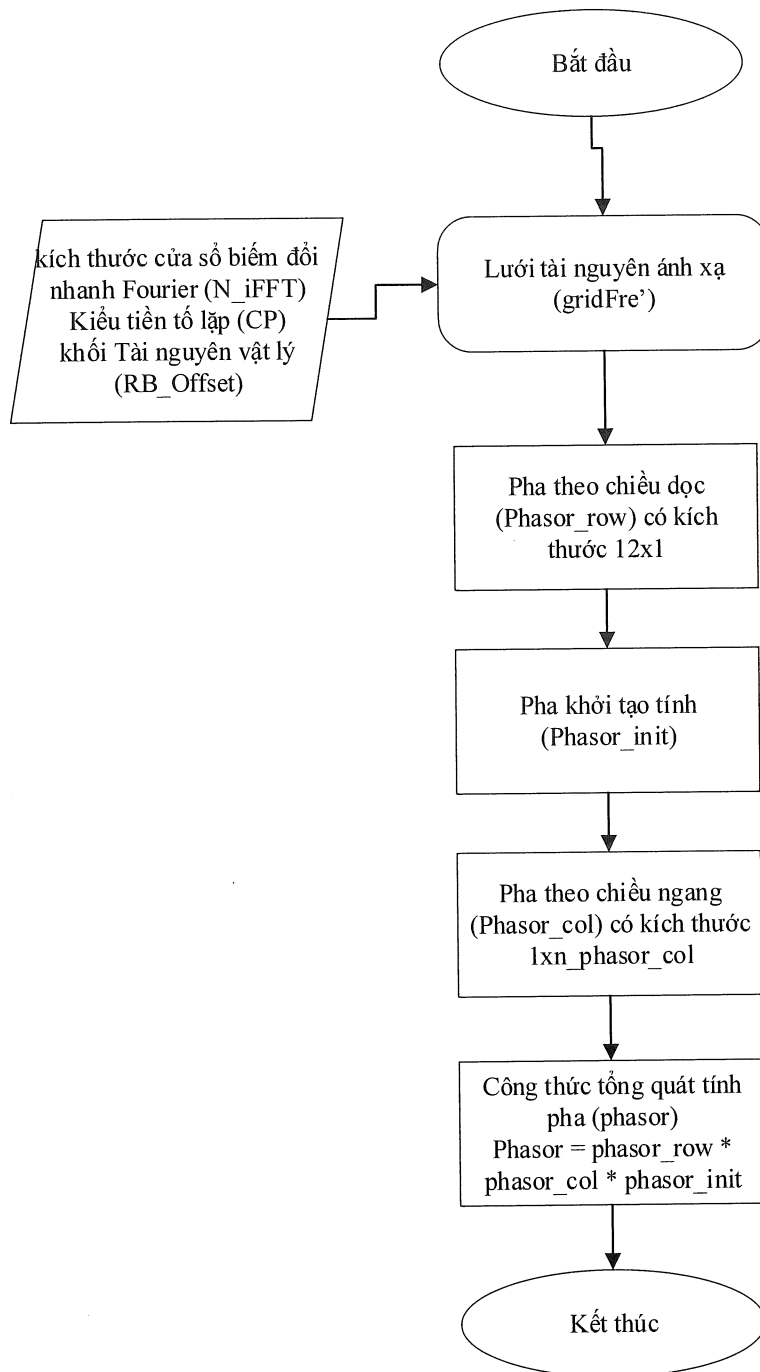
N_{FFT} : là kích thước của số fourier sử dụng như bảng ở bước 1 mô tả;

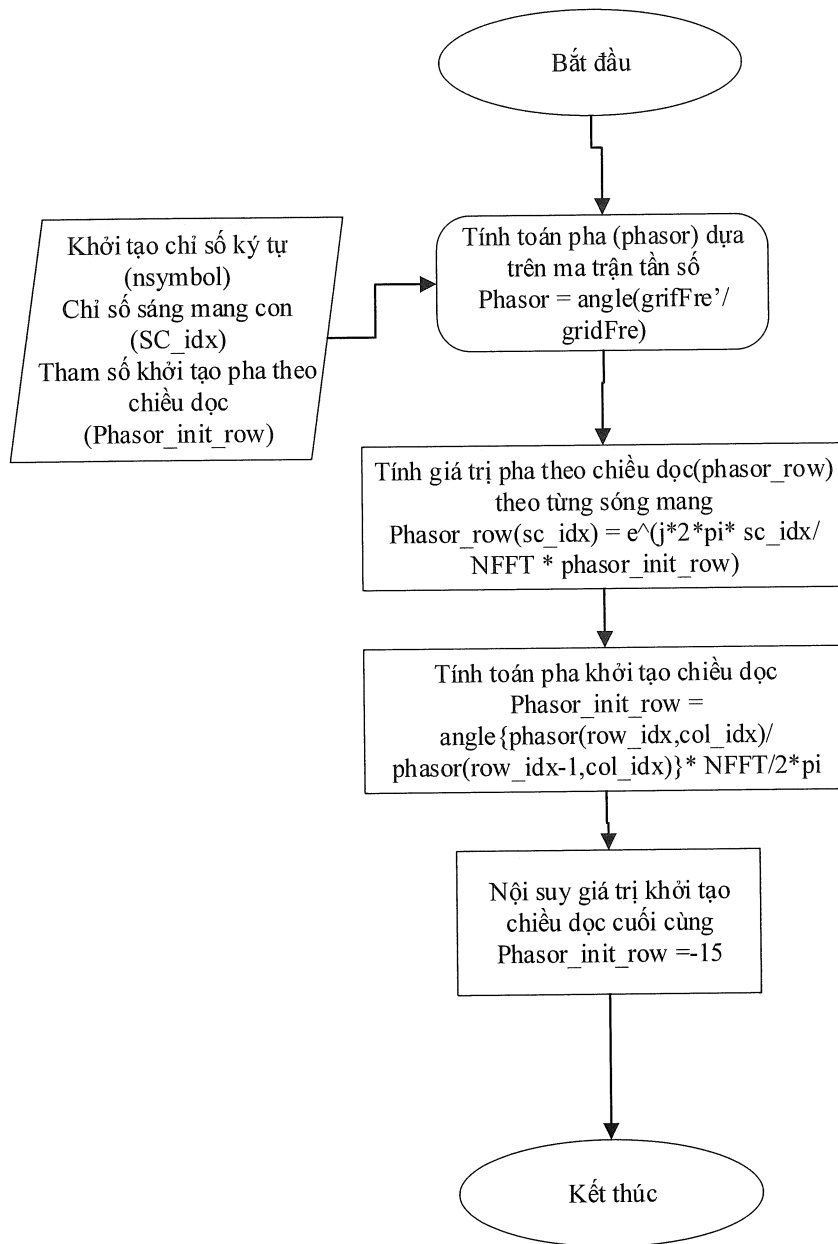
theo phương pháp của sáng chế hiệu chỉnh tín hiệu bám theo hệ số pha đã xác định và bù pha độc lập cho tín hiệu thu theo từng nhóm sóng mang

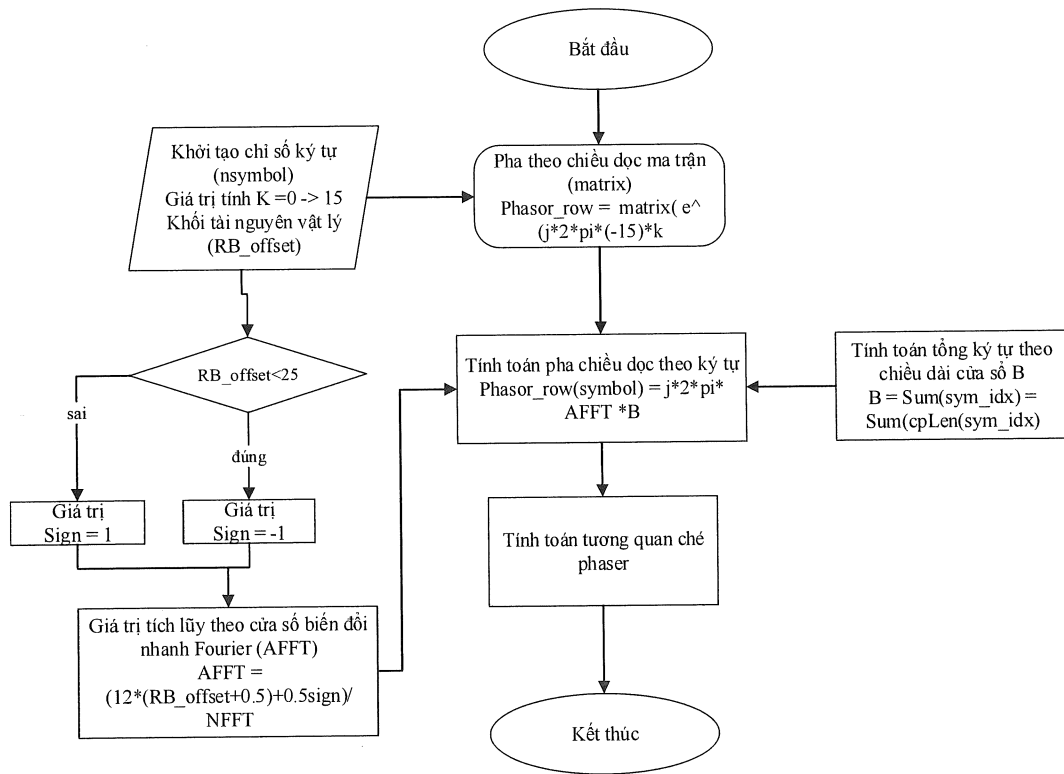
$$t_{\text{rec}}(t) = \sum_{i=0}^k (\text{phasor}_{\text{init}} * t_{\text{symbol}}(i)) + 10 * \log(nRB * 15000)$$

trong đó $t_{rec}(t)$ là tín hiệu đã hiệu chỉnh bám pha và bù pha độc lập
 $t_{symbol}(i)$ là tín hiệu thu từng ký tự NB-IoT đã loại bỏ lệch tần số và lệch thời
gian của nhiều Ue NB-IoT;
 nRB là số lượng tài nguyên lớp vật lý của băng thông LTE mang với tối đa
như bảng bước 1 mô tả.

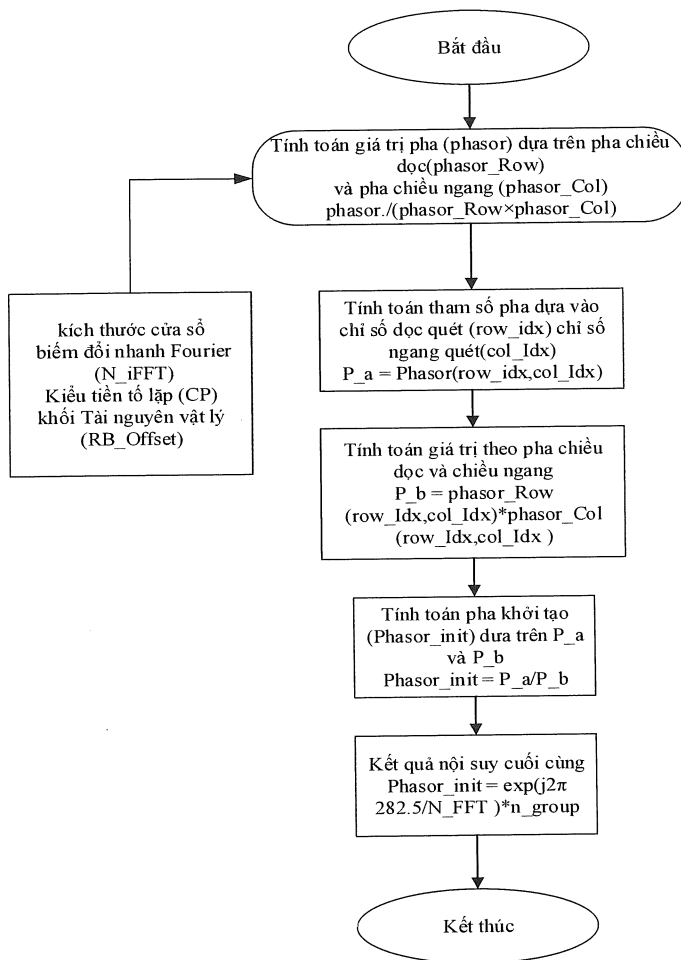
**Hình 1**

**Hình 2**

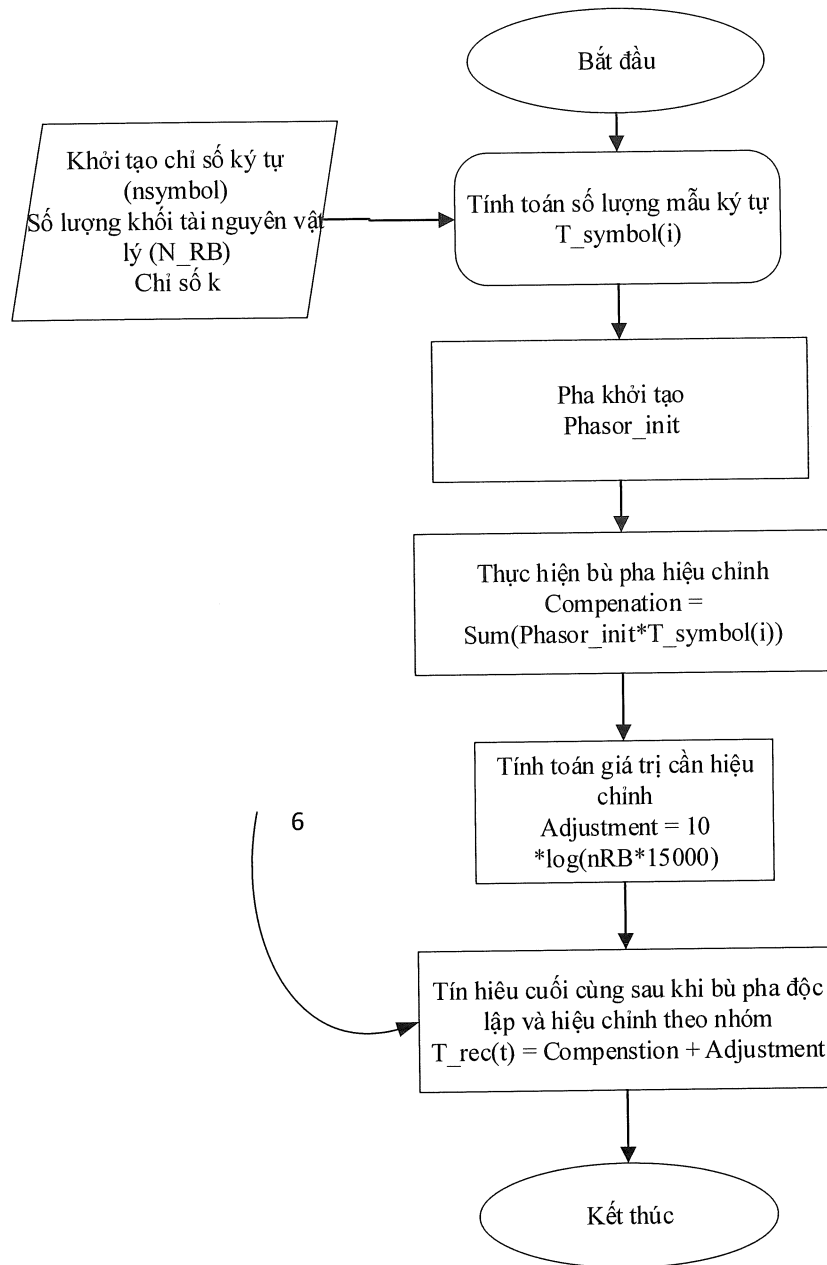
**Hình 3**



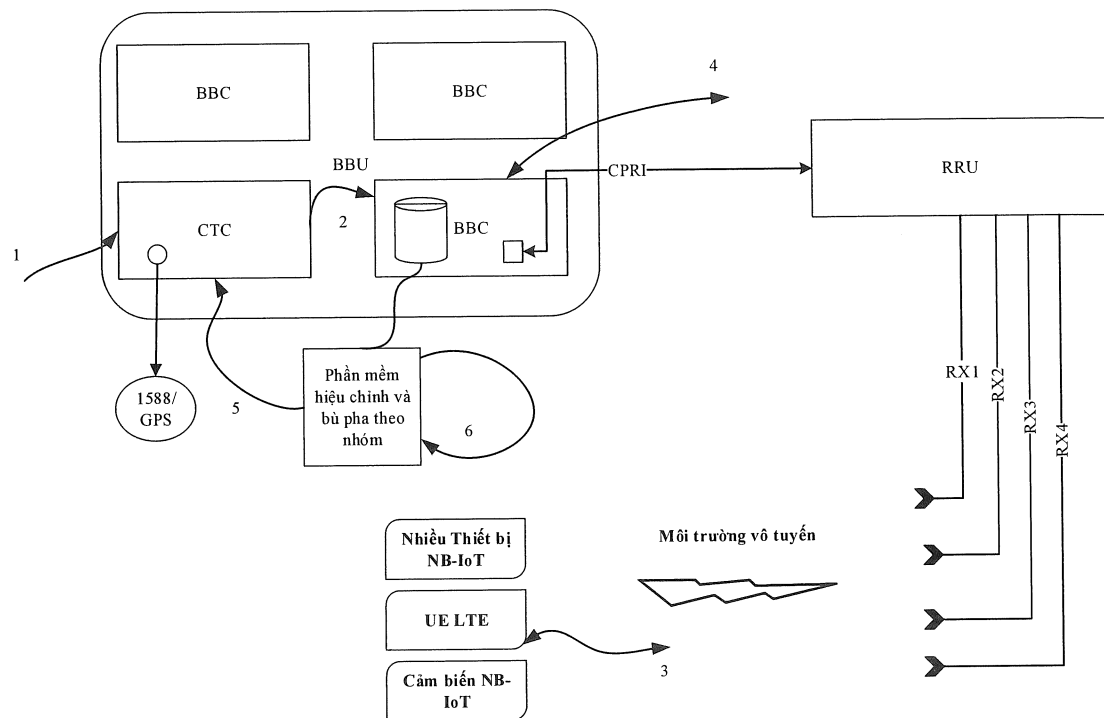
Hình 4



Hình 5



Hình 6



Hình 7